الفصل الأول :المواد الهندسية

تقسيم المواد الهندسية

المقصود بالمواد الهندسية أنها المواد التى تستخدم فى الأعمال والمجالات المختلفة سواء للمنشآت مثل الأحجار والطوب والمواد الأسمنتية والركام الناعم والخشن والأخشاب والبلاستك والمعادن والزجاج والمواد العازلة.....وغيرها كذلك تلك المواد المستخدمة فى الصناعة والماكينات مثل الحديد والنحاس والألومنيوم ... الخ، أو المواد المستخدمة فى أعمال الصيانة مثل مواد الطلاء والبويات، وكذلك المواد التى تستخدم لتوليد الطاقة مثل الماء والمواد البترولية ومواد الطاقة الذرية.

تقسم المواد الهندسية حسب تصنيفات متعددة كما يلي:

أ- تقسيم المواد حسب طبيعة تركيبها.

ب- تقسيم المواد حسب مصادر الحصول عليها.

جـ- تقسيم المواد حسب خواصها الميكانيكية.

تقسيم المواد حسب طبيعة تركيبها.

١- المواد المعدنية

- معادن حديدية: مثل الحديد الصلب والحديد الزهر والحديد المطاوع
- معادن غير حديدية: هى معادن ثقيلة مثل النحاس والنيكل ومنها معادن خفيفة مثل الألومنيوم والماغنسيوم ومعادن طرية مثل الصفيح والرصاص.

٢- المواد غير المعدنية

- مواد البناء: مثل الأحجار والطوب و الركام والخرسانة والأسمنتيات والجبس والأخشاب... وغيرها.
- مواد متنوعة: مثل المطاط والبلاستيك والفوم والبويات... الخ.

٣- المواد المولدة للطاقة

- مثل الماء والفحم والمواد البترولية واليورانيوم... وغيرها.

تقسيم المواد حسب مصادر الحصول عليها

١- مواد من مصادر طبيعية

يمكن تقسم المواد الطبيعية إلى مواد طبيعية ليس لأى يد بشرية دخل فى تكوينها أو تغير خواصها، ومواد مستخلصة

٢- مواد من مصادر صناعية

هى المواد ونظائرها التى يتم تصنيفها من خامات طبيعية أو خامات مصنعة ومجهـــزة فى المعامـــل أو المصانع بغرض الحصول على مواد هندسية مصنعة ذات خواص معينة تلائم العمل المـــصممة مـــن أجله، مثل مواد الطلاء ومواد العزل والطوب وسبائك المعادان و الأسمنت.....وغيرها.

٣- مواد من مخلفات الأعمال الهندسية والصناعية

هى المواد التى تنتج وتختلف بشكل ثانوى من مراحل تصنيع الأعمال الهندسية والصناعية مثل خبث الأفران ونواتج الاحتراق والمخلفات البترولية ومخلفات أعمال المبانى من الكوب وبلاط وسيراميك، وتلك المخلفات كلها يمكن استخدمها فى أعمال هندسية اخرى مثل صناعة الأسمنـــت الحديـــدى وأعمال العزل وبعض أنواع من الطوب والخرسانات...الخ

تقسيم المواد حسب خواصها الميكانيكية

الخواص الميكانيكية من أهم الخواص التى تدرس سلوك المواد وخواصها لذلك يمكن تقسيم المـــواد لهندسية من حيث خواصها الميكانيكية إلى مواد مطيلة ومواد نصف مطيلة ومواد قصفة.

١. المواد المطيلة

هى المواد التى يتغير شكلها أو يمكن أن يحدث بها استطالة بتأثير الأحمال المختلفة التى تـــؤثر عليهـــا وتكون خاصية المرونة والممطولية بها عالية وكذلك مقاومتها للشد عالية مثـــل الحديـــد المطـــاوع والألومنيوم...وغيرها من المواد المعدنية.

٢. المواد القصفة

هى المواد التى تكون مقاومتها للشد ضعيفة ولا تقاوم أحمال الصدم ولكن تتحسن مقاومتها للضغط بشكل مناسب مثل الطوب والأحجار والخرسانة والزجاج والحديد الزهر... وغيرها مـــن المـــواد المعدنية والغير معدنية.

٣. المواد النصف مطيلة

هى المواد التى خواصها تجمع بين خواص المواد المطيلة من حيث قدرتها على الممطولية بدرجة أقـــل وخواص المواد القصفة بتحسين ظاهر فى خواص المرونة. وهذه المواد هى الصلب الكربونى والنحاس الأصفر.

الخواص الميكانيكية للمواد الهندسية

لتعيين الخواص الميكانيكية للمواد الهندسية يجب أن تكون على معرفة تامة بأنواع وطبيعة الأحمال المؤثرة على المواد الهندسية قبل الخوض فى التعرف على الخواص الميكانيكية الرئيسية التى تميز صفات وخواص المواد.

أنواع التحميل

يمكن تقسيم الطرق التى تؤثر بها الأحمال على المواد الهندسية إلى الأنواع الآتية:

١- التحميل الاستاتيكى

الحمل الاستاتيكى قد يكون فيه تأثير الحمل بطيئاً متزايداً أو متناقصاً تدريجياً حتى يصل إلى قيمته القصوى أو الدنيا بدون حدوث أى أحمال صدم أو اهتزاز مثل أحمال اختبارات الشد أو الضغط أو الانحناء أو القص، حيث أنه تحمل عينة الاختبار بأحمال تزداد تدريجيا ببطء وبمعدلات تحميل معلومة طبقا لمواصفات أى من الإختبارات حتى يصل الحمل إلى قيمته القصوى ويحدث الكسر بالعينات. وقد يكون الحمل الإستاتيكى ثابت المقدار والاتجاه وطبيعة وموضع التأثير مثل أوزان العناصر الإنشائية المختلفة وكذلك أى أحمال دائمة ساكنة مؤثرة عليها. كما أن التحميل المستمر او التحميل الدائم مدة طويلة مع الزمن بدون تغيير فى طبيعة الحمل المؤثر يعد تحميلاً إستاتيكيا.

٢- التحميل الديناميكى

التحميل الديناميكى تكون الأحمال المؤثرة على المواد ما هى إلا أحمال اهتزاز أو أحمال صدم وتكون مدة تأثير هذه الأحمال قصيرة نسبياً. ويختلف التحميل الديناميكى عن التحميل الإستاتيكى فى أن الإجهادات الناشئة عن التحميل الديناميكى أعلى بكثر من الإجهادات الناتجة عن التأثير بنفس قيمة الحمل ولكن حمل إستاتيكى. ويعرف الحمل الاستاتيكى الذى يعطى نفس الإجهادات الناشئة من الحمل الديناميكى بالحمل الاستاتيكى المكافئ. ومن أمثلة التحميل الديناميكى هى أحمال الأجسام المتحركة عند صدمها بأجسام أخرى (مثل هبوط الطائرة على أرض المطار)، والأحمال الناشئة عن دوران الماكينات وحركة القطارات، وأحمال الزلازل... وغيرها.

٣- التحميل المتكرر

التحميل المتكرر هو الحالة التى تتعرض فيها العناصر الإنشائية إلى حمل يتكرر مرات عديدة. وللتحميل المتكرر أهمية خاصه يجب الإهتمام بها لأن العناصر قد تتحمل إجهادات معينة بتأثير الأحمال لمرة واحدة، بينما قد تنهار هذه العناصر تحت تأثير نفس الأحمال أو أحمال أقل منها لو كان الحمل المؤثر متكرراً لمرات عديدة. ويسبب التحميل المتكرر اجهادات متغيرة فى القيمة غالبا فى حدود معينة،

الخواص الميكانيكية الرئيسية

قد تم تعريف الخواص الميكانيكية للمواد بأنها تعيين سلوك المادة تحت تأثير الأحمال المختلفة، وتعتبر الخواص المميزة الآتية هى الخواص الميكانيكية الرئيسية التى يمكن بها تمييز وتصنيف المواد الهندسية:

١ـ المرونة Elasticity

المرونة هى قدرة المادة على استعادة أبعادها الأصلية بعد زوال الحمل المؤثر وعدم بقاء أى تشكل دائم بها. أما بالنسبة لإجهاد حد المرونة فأنه أكبر إجهاد تتحملة المادة بشرط عدم بقاء أى تغير أو تشكل دائم فى الأبعاد والشكل بعد زوال هذا الإجهاد.

٢ـ اللدونة Plasticity

اللدونة هى قدرة المادة على أن يكون لها تشكل دائم ولا تسترجع المادة أبعادها الأصلية بعد زوال الحمل المؤثر. ولخاصية اللدونة أهمية كبرى فى عمليات التشكيل للمعادن.

٣ـ المطولية Ductility

المطولية هى قدرة المادة على السحب والاستطالة الكبيرة عند تعرضها لأحمال الشد أى أنها هى الخاصيه التى تسمح للمادة بتغير لدن كبير تحت تأثير أحمال الشد

وتقاس قيمة مطولية المواد بما يأتى:

١- النسبة المئوية للاستطالة

$$*\text{Ductility} = \frac{L_i - L_o}{L_o} \times 100$$

٢- النسبة المئوية للنقص فى مساحة المقطع

$$*\text{Ductility} = \frac{A_o - A_i}{A_o} \times 100$$

٣- عامل الاستطالة

$$*\text{Elongation Factor} = \frac{A_o - A_i}{A_i} \times 100$$

حيث:

L_0 = الطول الأصلى للعينة

A_0 = مساحة المقطع الأصلية

L_i = الطول القياسى بعد الكسر

A_i = مساحة المقطع بعد الكسر

P = حمل الشد

٤ـ الطروقية Malleability

الطروقية هى قدرة المادة على حدوث تغيرات لدنه كبيرة تحت تأثير أحمال الضغط، وكذلك قدرتها على التفلطح بالطرق بدون حدوث أى تشرخ أو كسر

٥ـ التقصف Brittleness

التقصف هى الخاصية التى تجعل المادة تنكسر قبل حدوث أى تغير ملحوظ فى الشكل او أنها عدم قابلية المادة على الاستطالة أو السحب أو الطرق، وبذلك فإن التقصف يعتبر عكس الممطولية. ومن المواد التى لها خاصية القصافة هى الحديد الزهر والخرسانة والزجاج وغيرها.

٦ـ المقاومة Strength

المقاومة تعرف بانها هى مقاومة المادة لأى حمل مؤثر عليها سواء كان حمل شد أو ضغط أو انحناء او قص، وتعرف بالمقاومة للضغط إذا كان الحمل المؤثر حمل ضغط، والمقاومة للشد إذا كان الحمل المؤثر حمل شد وهكذا. وأقصى مقاومة تعرف بأنها أكبر إجهاد تتحمله المادة تحت تأثير الحمل المؤثر ببطء حتى الكسر. ووحدات قياس المقاومة هى نفسها وحدات قياس الإجهاد.(وحدات قوة على مساحة)

٧ـ الصلابة Stiffness

الصلابة هى مقاومة المادة لأى نوع من التغير فى الشكل والأبعاد، وتعرف المادة الصلبة بأنها المادة التى تتحمل إجهادات عالية مع حدوث تغيرات صغيرة نسبيا فى الشكل. وتقاس قيمة الصلابة للمواد بمقدار معاير المرونة أو معاير يونج للمرونة فى اختبار الشد والضغط المحورى وهو مقياس الصلابة فى حدود المرونة. معاير المرونة هو قيمة الزيادة فى الإجهاد مقسومة على الزيادة فى الانفعال المقابل له فى حدود المرونة للمادة

٨ـ المتانة Toughness

المتانة هى قدرة المادة على مقاومتها للأحمال الديناميكية أ أنها تعبر عن قدرتها على مقاومة أحمال الصدم وإمتصاص الطاقة الميكانيكية. مع تغير كبير فى الشكل بدون حدوث كسر. وتقاس المتانة بمقدار بقيمة المساحة الكلية تحت منحنى الحمل والاستطالة فى شكل (١-٩). ويعرف معاير المتانة بمقدار الطاقة المؤثرة على منحنى الإجهاد والإنفعال للمواد (المساحة الكلية تحت منحنى الإجهاد والانفعال)

٩ـ الرجوعية Resilience

الرجوعية هى قدرة المادة على امتصاص الطاقة المرنة التى تختفى بعد زوال الحمل المؤثر. وتقاس الرجوعية بمقدار المساحة تحت الجزء المستقيم لمنحنى الحمل والاستطالة). ومعاير الرجوعية يعرف بأنه أكبر كمية من الطاقة الميكانيكة المرنة التى تختزنها وحدة الحجوم من المادة وتسترجع ثانية بمجرد إزالة الحمل المؤثر. ويعيين مقدار معاير الرجوعية للمادة بحساب المساحة التى تحت منحنى الإجهاد والإنفعال المحصورة بين الصفر وإجهاد حد المرونة

١٠ـ **الصلادة** Hardness

الصلادة هى قدرة المادة على الاحتفاظ بشكل سطحها سليما متماسكا تحت تأثير الأحمال المختلفة. وقد تعرف الصلادة بأنها قدرة المادة على مقاومة البرى نتيجة الاحتكاك أو المقاومة للخدش أو القطع أو حدوث أى علامة بها. وهذا التعريف لا يمكن أن يكون تعريفاً عاماً لأن بعض المعادن لها مقاومة ضعيفة لنوع من أنواع الصلادة بينما لها قدرة عالية فى نوع أخر،

اختبارات الميكانيكية

اختبار الشد

يعتبر اختبار الشد من أكثر الاختبارات الإتلافية شيوعاً نظراً لسهولة إجراء الاختبار ولكمية الخواص الميكانيكية المستنتجة من هذا الاختبار . يتم هذا الاختبار عن طريق شد العينة المراد اختبارها بعد تثبيتها من طرفيها محورياً بشكل تدريجي من الصفر حتى الكسر .

تستند معظم المواصفات القياسية إلى اختبار الشد لبيان الخواص الميكانيكية للمواد الهندسية مثل : حد التناسب (Proportional Limit) ، إجهاد الخضوع (Yield stress) أقصى مقاومة إجهاد (Ultimate tensile stress) وغيرها مما سيأتي الحديث عنه لاحقاً في هذه الوحدة .

الإجهاد والانفعال: Stress & strain

آ) الإجهاد : يعرف الإجهاد بأنه حاصل قسمة القوى العمودية على وحدة المساحة ولذلك فإن وحدة الإجهاد هي باسكال (Pa) أو (N/m^2) وهو ينقسم إلى قسمين:

١ – الإجهاد **الهندسي** Engineering stress (σ)

هو حاصل قسمة القوة "F" على المساحة المقطعية الأصلية "A_o" أي المساحة المحسوبة قبل الشد.

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \qquad 1.1$$

٢ – إجهاد **حقيقي** True stress (σ_{Tr})

وهو حاصل قسمة القوة "F" على مساحة المقطع اللحظية للعينة (A_i) أي المساحة المحسوبة لحظة قراءة القوة . "لاحظ أن المساحة تقل مع الشد".

$$\sigma_{Tr} = \frac{F}{A_i} \qquad 1.2$$

ب) **الانفعال** Strain:

يعرف الانفعال بأنه ما يحدث للمادة من تغير داخلي نتيجة تأثير الإجهاد عليها . وينقسم كذلك إلى قسمين :

١ – **الانفعال الهندسي** Engineering Strain (e):

وهو حاصل قسمة الاستطالة (ΔL) الحاصلة للعينة من جراء الشد على الطول الأصلي للعينة (L_0). لذلك فإن وحدة الانفعال هي (m/m) أو يمكن أن نقول بأنه لا وحدة له Dimensionless

$$e = \frac{\Delta L}{L_0} \qquad 1.3$$

٢ – **الانفعال الحقيقي** True Strain (ε):

هو اللوغاريتم الطبيعي لقسمة الطول النهائي على الطول الأصلي.

$$\varepsilon = \ln(\frac{L_f}{L_0}) \qquad 1.4$$

ج) معامل يونغ Young's Modulus (E) :

معامل يونغ هو ما يربط العلاقة بين الإجهاد والانفعال الهندسيين في الشد قبل الوصول إلى حد التناسب. وله وحدة باسكال Pa.

$$E = \frac{\sigma}{e} \qquad 1.5$$

علاقة الإجهاد والانفعال

$$\varepsilon = \ln(e+1) \qquad \sigma_{Tr} = \sigma(e+1)$$

مثال : عينة طولها الأصلي ١٠٠مم تم إجراء اختبار الشد عليها حتى أصبح طولها ١٠٢مم. أوجد كلا من:

آ) الانفعال الهندسي

ب) الانفعال الحقيقي .

الحل :

$$L_0 = 100mm \qquad L_f = 102mm$$

أ)

$$e = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{L_f - L_0}{L_0} = \frac{102-100}{100} = 0.02$$

ب)

$$\varepsilon = \ln(\frac{L_f}{L_0}) = \ln(\frac{102}{100}) = 0.0198$$

سلوك المعادن تحت تأثير حمل الشد الاستاتيكي المحوري

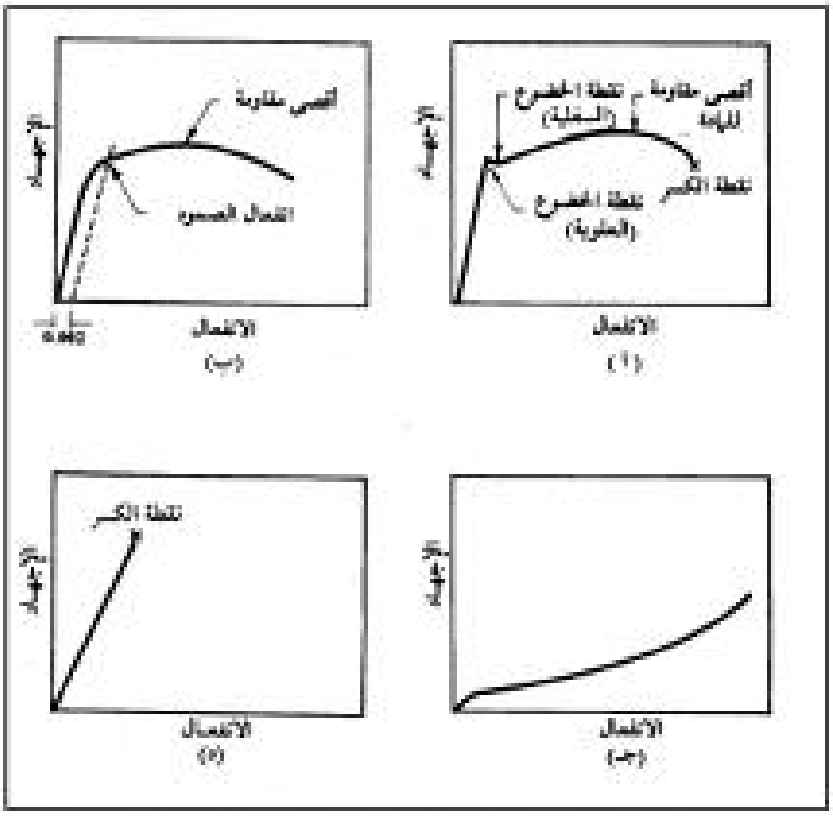
تختلف المعادن في سلوكها تحت تأثير حمل الشد الاستاتيكي المحوري تبعا لطبيعة تلك المواد فمنها ما يكون:

ا - معادن مطيلة (Ductile Metals): وهي المعادن التي يمتاز منحنى الإجهاد والانفعال لها بوجود منطقة مرونة (Elastic Zone) ومنطقة لدونة (Plastic Zone) ومنطقة بين المنطقتين هي ما تسمى بمنطقة الخضوع (Yield Zone)، كما تمتاز بحصول تشوه كبير لها قبل حدوث الكسر وكذلك تمتاز بتكون الرقبة أو العنق (Neck).

ب - معادن نصف مطيلة (Semi Ductile Metals): وهي المعادن التي يمتاز منحنى الإجهاد والانفعال لها بوجود منطقة مرونة ومنطقة لدونة ولكن دون وجود منطقة الخضوع مميزة بين المنطقتين، كما يحدث لها تشوه متوسط وكذلك تمتاز بتكون رقبة أقل وضوحا.

ج - معادن قصفة (Brittle Metals) : هي التي لا يوجد لها منطقة خضوع ولا يوجد لها علاقة تناسب بين الإجهاد والانفعال فالمنحنى منذ بدايته عبارة عن خط مائل وليس خطا مستقيما ويحدث بها تشوه صغير جدا مقارنة بالمواد الأخرى كما لا يتكون فيها رقبة، إذ أن المعادن القصفة لا تتحمل قوى الشد لكنها في المقابل تتحمل قوى الضغط بشكل أكبر.

كما يوجد بعض المواد تكون عالية اللدونة (Super Plastic) يزيد فيها الانفعال المرن عن نسبة ١٠٠٪ مثل المطاط وبعض المواد البلاستيكية كما هو واضح في الشكل ١.٢.



شكل ١.٢ : منحنيات الإجهاد والانفعال لمواد مختلفة ا - مادة مطيلة

ب - مادة نصف مطيلة ج - مادة عالية اللدونة مثل البلاستك د - مادة قصفة

منحنى الإجهاد والانفعال

١ – **حد التناسب** (Proportional Limit): هو أقصى قيمة للإجهاد والتي عندها تكون علاقة الإجهاد بالانفعال علاقة خطية (خط مستقيم) تحصل هذه عند النقطة (A) كما في الشكل.

٢ – **حد المرونة** (Elastic Limit): وهو أقصى إجهاد مطبق على المادة بحيث لا يحصل هناك تشوه دائم عند زوال الحمل. النقطة (B) كما في الشكل.

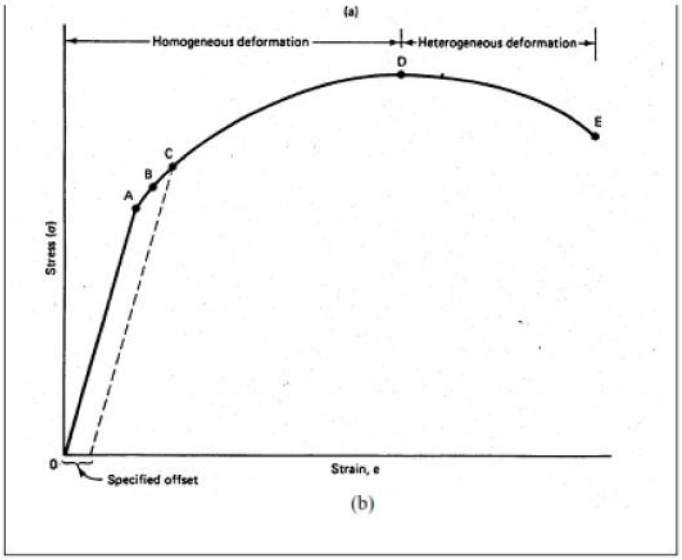
٣ – إجهاد **الخضوع** (Yield strength): هي النقطة التي يتم عندها التحول من الانفعال المرن إلى الانفعال اللدن وفي واقع الأمر هي ليست نقطة بل منطقة تمثل آخر مراحل مقاومة المادة للتشوه اللدن، كما يمكن تعريفه بأنه الإجهاد الذي يحدث عنده زيادة ملحوظة في الاستطالة دون زيادة في الحمل (أي أن الانفعال يزداد بدون زيادة الإجهاد). النقطة (C)كما في الشكل.

وهو إجهادان إجهاد خضوع أعلى وهو لا يعد خاصية من خصائص المعدن إذ أنه يعتمد على ظروف الاختبار كسرعة التحميل، واجهاد خضوع أدنى وهو الذي يعتبر خاصية من الخصائص الميكانيكية للمعدن إذ ان قيمتة ثابتة لا تتغير لكل معدن.

٤ - إجهاد **الضمان** (Proof Stress): توجد بعض المعادن التي لها خاصية المرونة ولكن ليس لها منطقة خضوع، ونظرا لأن لها خاصية المرونة لذلك يلزم الحصول على إجهاد ليعبر عن مقاومة المعدن في حد المرونة ويسمى هذا الإجهاد بإجهاد الضمان. (أي أن إجهاد الضمان هو المقاومة في حد المرونة للمعادن التي لها خاصية المرونة وليس لها منطقة خضوع).

ويعرف إجهاد الضمان بأنه الإجهاد الذي يحدث في قطعة الاختبار أثناء تحميلها استطالة لا تناسبية مساوية لنسبة مئوية محددة من طول القياس.

لذلك يراعى عند ذكر إجهاد الضمان ضرورة تحديد قيمته ببيان تلك النسبة المئوية من طول القياس، وغالبا تتراوح قيمة الاستطالة اللاتناسبية التي تستخدم لتعيين إجهاد الضمان بين ٠.١٪ و ٠.٥٪ من طول القياس.



شكل ١.٤ : (a) شكل عينة مطولية تحت الشد عند فترات مختلفة من الشد
(b) منحنى إجهاد وانفعال مثالي لمادة مطيلية.
A - حد التناسب B- حد المرونة C- إجهاد الخضوع
D- أقصى إجهاد شد E- نقطة الكسر

٥ – **أقصى إجهاد للشد** (Ultimate Tensile Stress): هو القيمة المقاسة لأقصى حمل تستطيع المادة تحمله محورياً. يمكن حسابها بأخذ قيمة أقصى حمل خلال اختبار الشد وقسمته على مساحة المقطع الأصلية (النقطة D في الشكل ١.٤) .

$$\sigma_{UTS} = \frac{F_{Max}}{A_0} \qquad ١.١٨$$

مع ملاحظة أن هذا الإجهاد لا يستخدم عادة في حسابات التصميم وذلك لأن العينة قبل هذه النقطة قد حصل لها تشوه دائم. إضافة إلى ذلك فبعد الوصول إلى هذه النقطة فإن العينة سوف تتشوه تشوهاً دائماً باستخدام إجهاد أقل من الإجهاد الأقصى.

٦ - إجهاد **الكسر**: هو الإجهاد الذي يحصل عنده كسر للعينة (النقطة E في الرسم)

٥ – **معامل يونغ** (Young's Modulus): معامل يونغ أو ما يطلق عليها معامل المرونة يمكن حسابه باستخدام الرسم وذلك عن طريق حساب الميل في الجزء الأول من المنحنى والذي يكون فيه خط مستقيم (في منطقة المرونة) كما في المعادلة رقم ١.٥ .

$$E = \frac{\sigma}{e}$$

اختبار الصدم

يعد اختبار الصدم نوعا مهما من أنواع التحميل الديناميكي ، والغرض منه هو بيان مدى مقاومة المادة للانهيار بتأثير قوى الصدم (التحميل الديناميكي) تحت ظروف التشغيل ، كما يستخدم اختبار الصدم لبيان تأثير تواجد الشروخ في العينات المختبرة على مقاومتها والتي تسبب ضعفها في تحميل الصدم ، وكذلك لبيان تأثير المعاملات الحرارية على المعادن وتوضيح مدى قصافتها.

اختبار الصدم القياسي Standard Impact test :

ويجري على قطعة اختبار قياسية محزوزة تعرض إلى قوى صدم تكسرها ثم نعين قيمة الشغل المبذول لكسر قطعة الاختبار وتعتبر قيمة هذه الطاقة أساساً لمقارنة المواد مع بعضها البعض من وجهة تحملها للصدم. وهنالك عدة أنواع من اختبارات الصدم القياسية مثل تشاربي وأيزود وستارت وستانتون، ويعتبر اختبار تشاربي *Charpy* وأيزود *Izod* هما الاختباران الأساسيان في اختبارات الصدم .

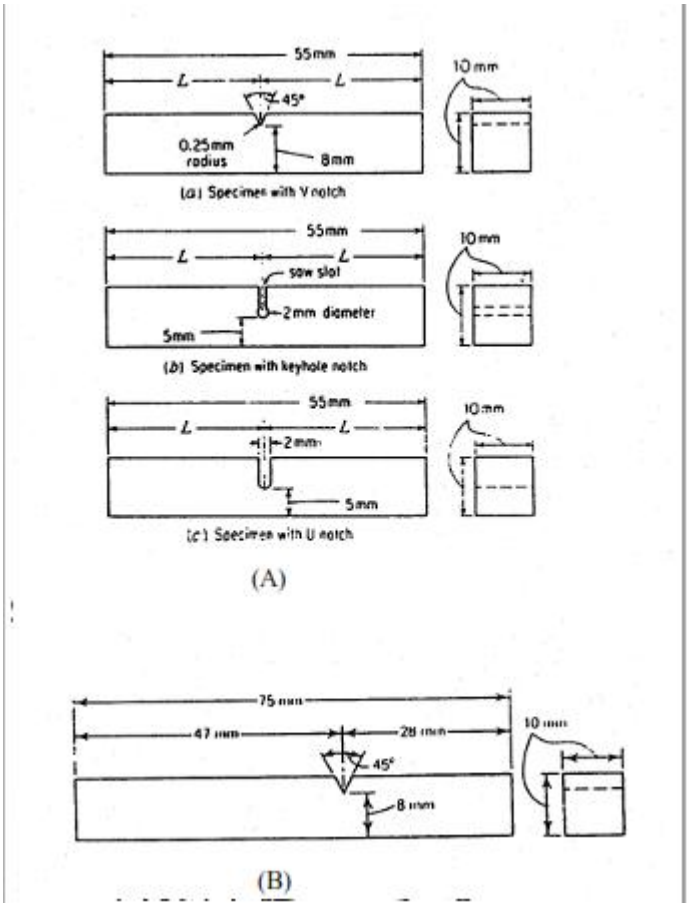
وفي كلا الاختبارين يؤثر حمل الصدم على العينة المختبرة من ثقل متأرجح من ارتفاع (H) له وزن محدد (W) فإذا أطلق هذا الثقل فإن مساره يكون دائرة وعند اصطدامه بالعينة المختبرة (المحزوزة) فإنه يصعد إلى ارتفاع آخر (H) وبذلك تكون الطاقة المستعملة في كسر العينة هي:

$$U_T = W(H - H') - F.E. \qquad 3.1$$

حيث $F.E.$ الطاقة المفقودة نتيجة الاحتكاك ويمكن إهمالها نتيجة صغر قيمتها، وتستخدم العينات المحزوزة في كل من اختباري تشاربي وأيزود لتحديد مكان الكسر وتسهيل الكسر في حالة المواد المطيلة نتيجة وجود تمركز للإجهادات عند قاع الحز يضعف مقاومتها للصدم ، وقد تستخدم عينات غير محزوزة في حالة اختبار عينات من الحديد الزهر.

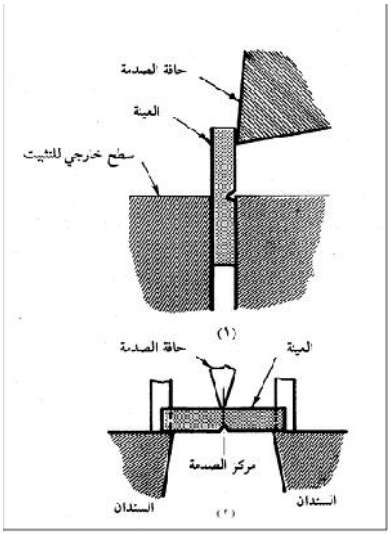
أشكال العينات القياسية :

لكل من اختبار أيزود وتشاربي شكل للعينة يختلف من حيث شكل الحز ففي اختبار أيزود للصدم يكون شكل الحز ثابت لكل العينات وهو مجرى بزاوية ٤٥° وعمق ٢مم أما في حالة تشاربي فيكون الحز بأشكال مختلفة ويكون في وسط العينة كما هو موضح في الشكل ٣.٢.



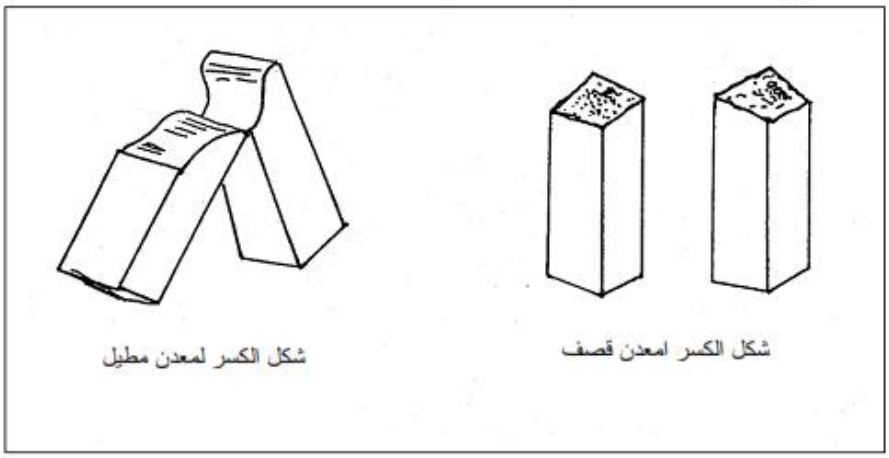
طرق تثبيت العينات:

في اختبار تشاربي تثبت العينة أفقياً بحيث تكون الصدمة تؤثر في منتصفها على الوجه المقابل للحز. أما في حالة اختبار أيزود فتثبت العينة رأسياً في ماكينة الاختبار بحيث يكون قاع الحز في مستوى السطح العلوي لكلابات التثبيت وتكون الصدمة على نفس السطح المحتوى للحز.



شكل الكسر للعينات:

من الملاحظ أن شكل الكسر للعينة في كل من اختباري تشاربي وأيزود يعكس خاصية ممطولية المعدن أو قصافته فالمعدن المطيل تثنى عينته مع الكسر أما المعدن القصف فتكسر عينته عند الحز. كما هو موضح في الشكل ٣.٤.



شكل ٣.٤: أشكال الكسر في اختبار الصدم للمعادن المطيلة والقصفة

اختبار الصلادة

صلادة أي معدن هي الخاصية التي تمكنه من الاحتفاظ بشكل سطحه سليما متماسكا تحت تأثير الأحمال. وقد تعرف الصلادة بأنها قدرة المعدن (سطح المعدن) على مقاومة حدوث علامة به (Indentation) أو مقاومة البري (Abrasion) أي مقاومة التآكل نتيجة الاحتكاك. وهذا التعريف لا يمكن اعتباره عاماً حيث إن بعض المعادن مثل الصلب المنجنيزي له مقاومة قليلة لحدوث العلامة به وفي الوقت نفسه له القدرة على مقاومة البري بدرجة عالية. لذلك لم يتمكن إلى الآن من إيجاد تعريف أساسي يحدد خاصية الصلادة وينطبق على كل المعادن ولكن أمكن إيجاد طرق لمقارنة الصلادة النسبية للمعادن بعضها ببعض. وقد عرفت الصلادة طبقاً لهذه الطرق كما يأتي:

١ – صلادة العلامة: (Indentation Hardness)

وهي خاصية مقاومة المعدن لحدوث علامة به نتيجة تحميله بحمل استاتيكي وديناميكي.

٢ – صلادة الارتداد: (Rebound Hardness)

وهي خاصية قدرة المعدن على الرجوعية أي امتصاص الطاقة وإعادتها ثانية بعد إزالة الأحمال المؤثرة مسببة ارتداداً لها تكبر قيمته كلما كبرت صلادة المعدن.

٣ – صلادة الخدش: (Scratch Hardness)

وهي خاصية مقاومة سطح المعدن للخدش.

٤ – صلادة التآكل: (Wear Hardness)

مجال اختبار صلادة المعادن

إن اختبار صلادة المعادن له مجال متسع في الصناعة وتنص معظم المواصفات القياسية على ضرورة إجرائه للمعادن وللمنتجات المعدنية كاختبار قبول.

وتستخدم نتائج اختبارات الصلادة في الأغراض الآتية:

١ - ترتيب المعادن حسب صلادتها حيث إن لكل صلادة معينة استخدام مناسب لها في الصناعة وفي التشغيل.

٢ - التحكم في مستوى الإنتاج ومراقبته أثناء التصنيع، وذلك بتعيين صلادة المنتجات فإذا ما اكتشفت قطعة أو أجزاء مخالفة لاشتراطات التشغيل أمكن استبعادها وبذلك نحصل على إنتاج منتظم.. كما أنه إذا اتضح من اختبارات الصلادة أن مجموعة كبيرة من الإنتاج غير مطابقة للصلادة المطلوبة أمكن إيقاف الإنتاج مؤقتاً للبحث عن السبب وملافاته فيتحسن الإنتاج وتقل الخسائر .

٣ - ضبط نسبة الكربون المطلوبة للصلب أثناء الصناعة – حيث إن لكل نسبة كربون معامل صلادة معين – بإجراء اختبار الصلادة السريع والسهل يمكن التزود بالبيانات اللازمة.

٤ - بيان مدى تأثير طريقة تشغيل المعدن للشكل المطلوب على صلادته وذلك باختبار صلادته قبل وبعد التشغيل لمعرفة تأثير عمليات الدلفنة على البارد أو الساخن أو عمليات السحب البارد .. الخ .

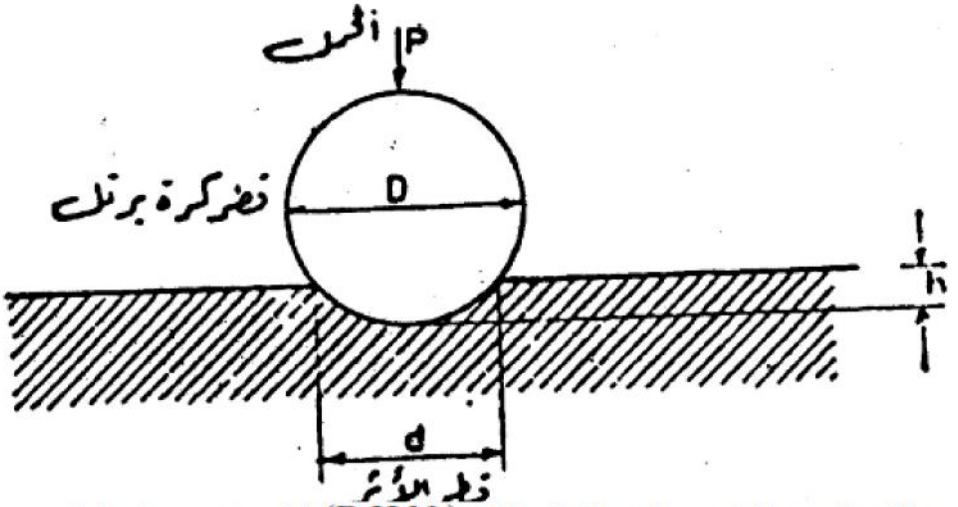
٥ - دراسة تأثير عمليات المعاملة الحرارية والتأكيد من صحة إجرائها وتغييرها صلادة المعدن طبقاً لذلك حيث إن عمليات التخمير (*Annealing*) والتسقية (*Quenching*) والمراجعة (*Tempering*) والتصليد بالتغليف (*Case-hardening*) وتخفيض نسبة الكربون (*decarburization*) لها تأثير مباشر على صلادة سطوح المعادن.

٦ - معرفة الخواص الميكانيكة للمعادن المتعلقة بخاصية الصلادة فمثلاً صلادة العلامة تتناسب طردياً مع مقاومة الشد وتوجد معادلة تحدد هذا التناسب وبذلك يمكننا باختبار الصلادة تعيين مقاومة الشد دون اللجوء إلى إجراء اختبار الشد وهو اختبار متلف (*Destructive test*) وتنطبق تلك النتيجة على أجزاء المكنات أو العينات التي يراد معرفة مقاومتها للشد ولا يمكن تجهيز عينات شد منها لتعذر ذلك نتيجة صغر الجزء موضوع الاختبار أو للرغبة في عدم كسر أو إتلاف ذلك الجزء الأمر الذي يجعل اختبار الصلادة عبارة عن اختبار غير متلف للمنتجات المعدنية، وسوف نحصر حديثنا في هذه الوحدة على صلادة العلامة.

١) اختبار صلادة المعادن بطريقة برنل Brinell

طريقة الاختبار

تتلخص هذه الطريقة في ضغط كرة من الصلب قطرها(D) مم بحمل قدره(P) كجم ثم قياس الأثر (d) مم الناتج من هذا الضغط على سطح قطعة الاختبار وذلك بعد إزالة الحمل المؤثر كما هو مبين بالشكل رقم ٤.١ .



ويعبر عن صلادة المعدن المختبر برقم برنل للصلادة (B.H.N.) الذي يحسب كما يلي:

رقم برنل للصلادة = حمل الاختبار (كجم)/مساحة أثر الكرة على قطعة الاختبار(مم^2)

$$\text{Brinell Hardness Number} = \frac{P}{\pi D h} \qquad 4.1$$

$$B.H.N. = \frac{P}{\pi D.(\frac{D}{2} - \sqrt{(\frac{D}{2})^2 - (\frac{d}{2})^2})} \qquad 4.2$$

$$= \frac{P}{\pi \frac{D}{2}(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \qquad 4.3$$

حيث أن: D قطر برنل بالمليميتر

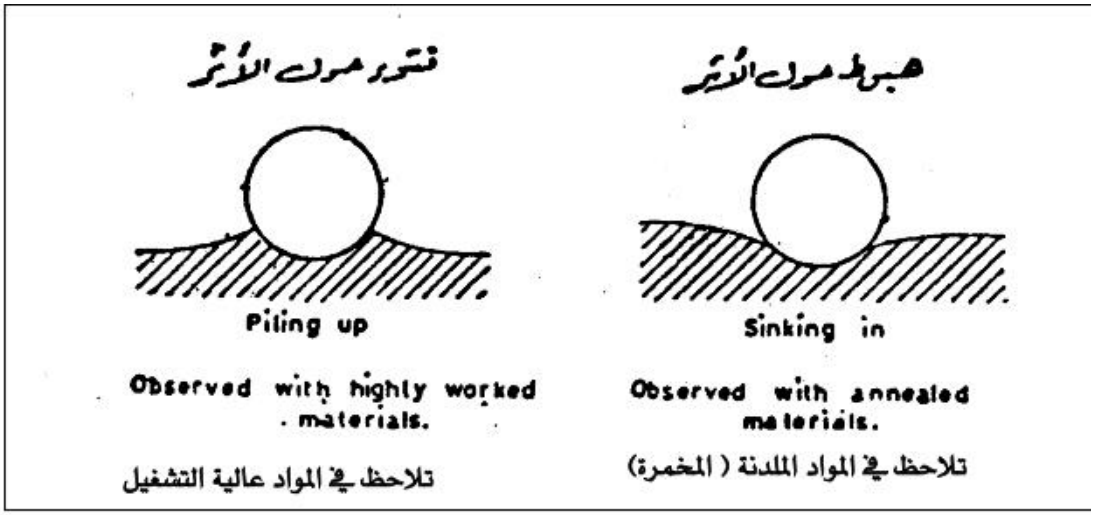
d قطر الأثر بالمليميتر

P حمل الاختبار بالكيلوجرام

ويراعى قياس قطر الأثر (d)في اتجاهين متعامدين واعتبار متوسطهما عند حساب رقم برنل للصلادة، كما يراعى أيضا أن يكون القياس دقيقا حتى ٠.٠١ مم وأن يكون الأثر بشكل وعمق يمكن من دقة القياس أي لا يكون قليل العمق بدرجة تكون هبوط حول الأثر أو لايكون كبير العمق بدرجة تكون

نتوء حول الأثر كما يتبين من الشكل رقم ٤.٢ ويعتبر الأثر مناسبا لحساب رقم برنل إذا كانت قيمة قطره تتراوح من 0.25 إلى ٠.٥ قطر الكرة

أي أن d/D = 0.5-0.25 أي متوسط d/D = 0.375



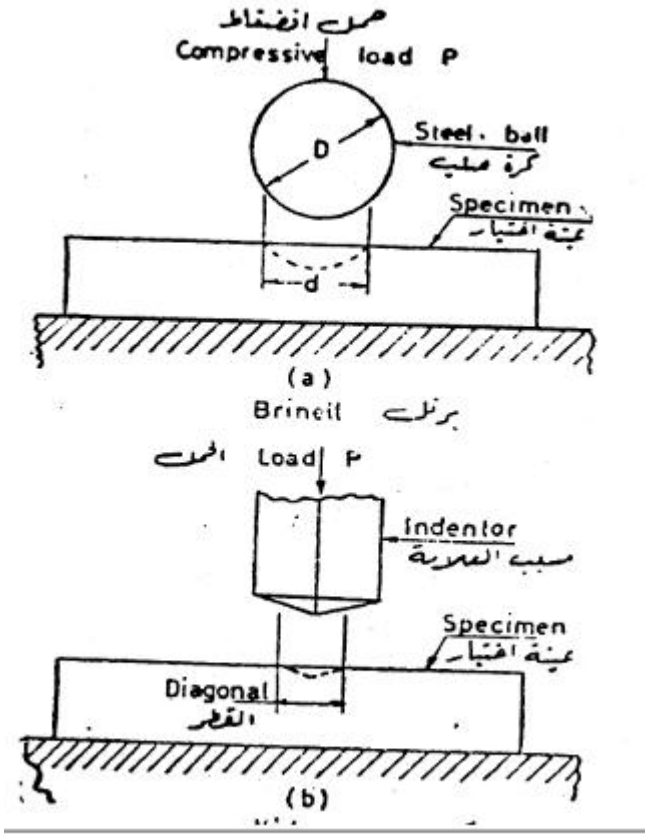
شكل ٤.٢ : تأثير شكل وعمق الأثر في اختبار الصلادة بطريقة برنل على دقة القياس

ب) اختبار صلادة المعادن بطريقة فيكرز *Vickers*

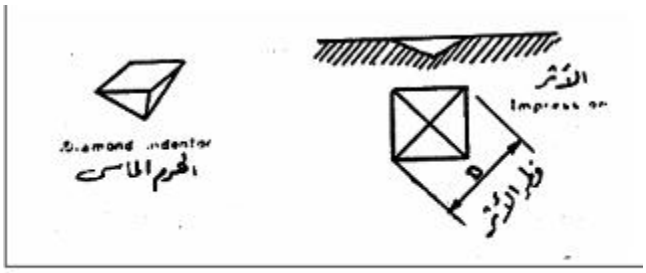
طريقة الاختبار

يجرى هذا الاختبار بنفس طريقة اختبار برنل شكل رقم (٤.٥) ولكن الجسم المؤثر بالحمل المحدث للأثر ليس كرة مصلدة من الصلب ولكن عبارة عن هرم من الماس مربع القاعدة وتتقاطع مستوياته عند الحروف بزاوية قدرها ١٣٦^{o} ويعين بعد التحميل – في هذه الحالة أكبر مقاس للأثر أي قطر الأثر ويحسب رقم فيكرز للصلادة كالآتي:

$$\text{Vickers hardness number} = \frac{2.P.\sin(\theta/2)}{D^2} = 1.854\frac{P}{D^2} \qquad ٤.٧$$



شكل ٤.٥ : صلادة العلامة بجهاز اختبار برنل وفيكرز



شكل ٤.٦ : أثر الهرم الماسي لاختبار فيكرز

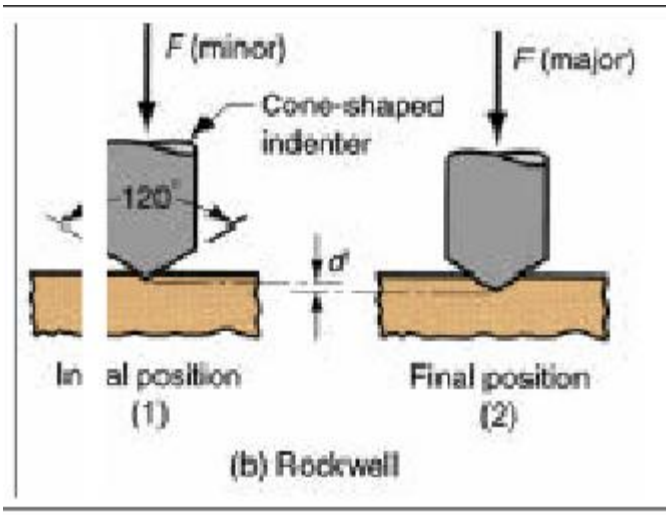
ج) اختبار صلادة المعادن بطريقة ركول *Rockwell*

إجراء الاختبار

يجرى اختبار ركول باستخدام مكنة خاصة تؤثر بحمل ٦٠ أو ١٠٠ أو ١٥٠ كيلوجرام وهو حمل صغير بالنسبة للحمل المستعمل في طريقة برنل.

كما أن الجسم المحدث للأثر عبارة عن كرة صغيرة من الصلب المصلد ١٦/١ بوصة أي ١.٥٨٨٨مم أو مخروط له حرف مستدير من الماس يسمى (Brale).

ويجرى الاختبار بتحميل قطعة الاختبار بحمل ابتدائي قيمته ١٠كجم (Minor load) وبعد ذلك يعاد مؤشر القرص المدرج للجهاز أمام التدريج . ثم يزاد الحمل بإضافة الحمل الكبير (Major load) حتى يكون الحمل الكلي النهائي ٦٠ أو ١٠٠ أو ١٥٠ كجم حسب نوع اختبار ركول المستخدم (الحمل النهائي = الحمل الابتدائي + الحمل الكبير المضاف) كما في الشكل ٤.٩



ويلاحظ أنه أثناء التحميل بالحمل الكبير المضاف يسير الجسم المحدث للأثر داخل سطح قطعة الاختبار وفي نفس الوقت يتحرك مؤشر القرص المدرج للجهاز لأنه متصل بالجسم المحدث للأثر بحيث أنه كلما زاد عمق الأثر كلما زادت حركة دوران المؤشر على قرص الجهاز. ثم يزال الحمل الكبير المضاف فيقل عمق الأثر قليلاً ويرتد بالتبعية قليلاً المؤشر على القرص ويثبت عند تدريج معين يكون رقمه هو رقم ركول للصلادة (مع ملاحظة أن الحمل الابتدائي ١٠كجم لا زال مؤثراً على قطعة الاختبار أي أن رقم الصلادة يتعلق بالأثر الناتج من الحمل الكبير فقط).

وقد بنى ركول طريقته على أساس أن رقم ركول المبين على تدريج الجهاز يتناسب تناسباً عكسياً مع عمق الأثر الناتج من الحمل الكبير أي أنه كلما زاد عمق الأثر كلما صغر رقم ركول للصلادة أي كلما قلت صلادة المعدن المختبر.

جدول رقم (٤.٤) مقياس ركول للصلادة

مقياس ركول	الجسم المحدث للأثر	الحمل الكلي للأثر كجم	المعادن التي يحدد صلادتها المقياس
ركول B	كرة صلب مصلدة قطر ١.٥٨٨مم	١٠٠	الصلب الكربوني الطري والمتوسط والألواح والقضبان المعدنية الطرية
ركول C	مخروط بحرف ماسي مستدير Brale	١٥٠	الصلب المصلد والسبائك الحديدية والسبائك المعدنية ذات صلادة أكثر من ركول ١٠٠
ركول A	مخروط بحرف ماسي مستدير Brale	٦٠	شرائح الصلب المصلد الرقيقة والمعادن والسبائك شديدة الصلادة وفي اختبار الصلادة إذا أريد أن يكون الأثر الحادث صغيراً